

Christopher Hansteens rolle i geodesiens utvikling i Norge

II. Vitenskapelige gradmålinger

Bjørn Ragnvald Pettersen

Vitenskapelig bedømt (refereed) artikkel

Bjørn R. Pettersen: Christopher Hansteen and the development of Norwegian geodesy. II. International meridian arc projects.

KART OG PLAN, Vol. 67, pp. 38–46. P.O.B. 5003, NO-1432 Ås, ISSN 0047-3278

Christopher Hansteen, professor of applied mathematics 1816–65 at the University of Oslo and director of the Geographical Survey of Norway 1817–1872, renewed the instrument collection and trained young officers in survey fieldwork in order to establish a national geodetic reference network. After 3 decades of national focus an opportunity arose to contribute internationally. The Russian-Scandinavian Meridian Arc project in Finnmark 1845–1850 is the first government-sponsored international science project in Norway. We review Hansteen's role and leadership using new archival sources. The results and experiences from this project prepared Norway for participation in the European Meridian Arc project in 1862. The Norwegian contribution to this grand scheme would create the backbone for further development and improvement of the national geodetic network. We review and discuss the Norwegian participation in these two international projects which aimed to improve the size and shape of the Earth reference ellipsoid.

Key words: astrogeodesy, surveying, geodetic arcs, instruments, history of science and technology.

Bjørn Ragnvald Pettersen, Professor dr.philos., Department of Mathematical Sciences and Technology, UMB, P O Box 5003, NO-1432 Ås. E-mail: bjorn.pettersen@umb.no

Innledning

Christopher Hansteen var professor i anvendt matematikk ved Det kongelige Frederiks Universitet (i dag: Universitetet i Oslo) 1816–1865 og (i bistilling) direktør i Norges geografiske oppmåling (NGO) 1817–1872. Han var også foreleser ved den militære høyskolen 1826–1849, som utdannet ingeniørfiserer med spesialisering i bl.a. landmåling. Denne kombinasjonen av stillinger og resurstilgang førte til etablering av et nytt og mer nøyaktig geodetisk grunnlag for landet, som beskrevet i en foregående artikkel¹. Nærværende bidrag, som bygger på nye arkivkilder, belyser innsats og resultater for de vitenskapelige gradmålinger som fant sted under Hansteens ledelse.

Som direktør i NGO hadde Hansteen ansvar for den operative oppmåling og kartlegging av Norge. Som professor var han opp-

tatt av geodesiens faglige utvikling. I den første rollen måtte mål og implementering tilpasses politiske styringskrav og rammer satt av økonomi, tidsbruk, utstyr og tilgjengelig personell. I praksis var det alltid viktigere med fremdrift i måleprogrammene enn å oppnå de best mulige målingene. I rollen som professor og vitenskapsmann er derimot målsettingen å oppnå innsikt og å flytte kunnskapsgrenser. Det forutsetter at det empiriske grunnlaget for analyse og tolkning er basert på de mest nøyaktige data som kan oppnås. Det krever førsteklasses utstyr og dyktige observatører.

Norge har deltatt i to internasjonale gradmålingsprosjekter for å bedre kjennskapet til jordklodens flattrykning og dimensjoner. Begge ble igangsatt under Christopher Hansteens ledelse. Observasjonsvirksomheten i den russisk-skandinaviske gradmålingen i

1. B. R. Pettersen, Christopher Hansteens rolle i geodesiens utvikling i Norge. I. Utvikling av en toposentrisk, astrogeodetisk, nasjonal referanseramme, 1815–1865. *Kart og Plan* 2006, 66 171–180.

Finnmark ble utført mellom 1845 og 1850. Bearbeidingen av data strakk seg over flere år og ble utført dels av Hansteen og dels av internasjonale partnere. Resultatene ble publisert i 1860. Den norske deltakelse i den europeiske gradmåling medførte observasjonsvirksomhet mellom Trondheim og Svinnesund fra 1864 til 1872, med tilleggsobservasjoner i 1877, 1881 og 1883. Resultatene ble publisert mellom 1881 og 1890.

Vitenskapelig gradmåling i Finnmark

Den norske deltakelsen i den russisk-skandinaviske gradmålingen skjedde på initiativ av vitenskapsakademiet i St. Petersburg. Saken ble behandlet av både den norske regjering og monarken, som tildelte ekstraordinære økonomiske midler og la prosjektledelsen for den norske innsatsen til Hansteen som direktør i NGO. Dette er første gang den norske stat finansierte deltakelse i et internasjonalt samarbeid med vitenskapelig målsetting.

I 30 år hadde Wilhelm Struve, direktør for tsarens observatorium i Pulkova utenfor St. Petersburg, systematisk etablert en stadig lenger trekantrekke fra Svartehavet og nordover til Bottenvika. Hensikten med gradmålingen var å bestemme jordellipsoidens størrelse og flattrykning. I 1844 fikk han den russiske regjeringens tilslutning til å henvende seg til kongen i Stockholm med forespørsel om samarbeid² for å føre trekantrekken helt opp til Nordishavet. Hansteens innstilling til regjeringen i Stockholm ga uttrykk for at prosjektet både var vitenskapelig interessant og for Norge ganske nyttig, idet man ville få uavhengig kontroll på kyst-

trianguleringen i Finnmark. Han anbefalte at Norge burde delta i samarbeidet og ba om ekstraordinær finansiering. Ved kongelig resolusjon den 13. juni 1845 ble omfanget av ekspedisjonen bestemt. Hansteen valgte ut løytnantene F. L. Klouman³ og C. A. B. Lundh til oppgaven. Samme sommer⁴ rekonoserte de oppmålingsstrekningen og markerte de utvalgte målepunktene med steinvarde.

Mot slutten av 1845⁵ mottok Hansteen en ny universalteodolitt fra instrumentmaker A. & G. Repsold i Hamburg, opprinnelig bestilt til den militære høyskole i 1840⁶. Et markesifte ble umiddelbart arrangert⁷ slik at den militære høyskolen overtok en universalteodolitt som NGO tidligere hadde kjøpt fra Ertel, og NGO overtok det nye instrumentet fra Repsold. Grunnen til dette var at miniatyriseringen av Repsolds universalteodolitt gjorde den foretrukket under de krevende feltbetingelsene i Finnmark. Kikkertobjektivet hadde en diameter på 2,8 cm og en brennvidde på 39 cm. Horisontalsirkelen på 18 cm var inndelt til 10 bueminutter og kunne avleses med to mikroskoper som hadde trommelinndeling på 10 buesekunder. Innstillingen kunne altså anslås til noen få buesekunder. De faktiske målingene ble søkt gjennomført i 12 satser. Vertikalsirkelen hadde en diameter på 15 cm og var tilsvarende inndelt⁸.

Vinteren 1846 ble instrumentet utprøvd av Hansteen⁹ i Universitetsobservatoriets hage i Oslo. Han målte den horisontale vinkelforskjellen mellom to kirkespir og senitvinkelen til det ene av dem. Fire målinger ga en horisontalvinkel på 32°47'16,1". Så la han om kikkerten og foretok 6 nye målinger som

2. Saken passerte statsråd 3.12.1844. Kopi av protokollen finnes i Statens kartverks arkiv (heretter SK).
3. Biografiske opplysninger om deltakerne i den russisk-skandinaviske gradmålingen finnes i Tillegg A.
4. SK. Rapport fra Klouman og Lundh til NGO, datert 31.12.1845. Oppholdet i Finnmark varte vel 2 måneder etter ankomst Hamnerfest 9.7.1845. De krysset den norske grensen sør for Kautokeino og reiste deretter over Haparanda til Stockholm. Der avtalte de forbindelsen mellom den norske og svenske delen av gradrekken. De var tilbake i Oslo 23. oktober.
5. Universitetet i Oslo, Astrofysisk Institutt (heretter UiO/AI). Brev fra A. & G. Repsold til Christopher Hansteen, datert 27.11.1845.
6. Hamburg Staatsarchiv, Tyskland (heretter HSA). Brev fra Hansteen til A. & G. Repsold, datert 7.9.1840.
7. HSA. Brev fra Hansteen til Repsold, datert 25.5.1846.
8. D. G. Lindhagen, *Über den Geodätischen Theil der Norwegischen Gradmessungs-Operationen*, i C. de Tenner, C. Hansteen, H. N. Selander, F. G. W. Struve, *Arc du Méridien de 25° 20' entre Le Danube et La Mer Glaciale mesuré, depuis 1816 jusqu'en 1855*, St. Petersburg 1860, Tome II, p. 427–431. Se også J. A. Repsold, *Zur Geschichte der Astronomischen Messwerkzeuge von 1830 bis um 1900*, Leipzig 1914, Zweiter Band, s. 19 og fig. 25. Se også SK. Geodætiske Avdelings Instrumentrulle.
9. HSA. Brev fra Hansteen til Repsold, datert 25.5.1846.

ga $32^{\circ}47'15,7''$. Senitvinkelen bestemte han ved 7 målinger og ved å dreie instrumentet 180° i asimut, til $88^{\circ}29'39,16''$. Så foretok han samme operasjon med et større universalinstrument fra Reichenbach og fant en senitavstand på $88^{\circ}29'15,55''$. Horisontalaksen til Repsolds instrument var 15 cm høyere enn Reichenbachs. Kirkespiret var 1330 meter borte, så senitvinkelen målt med Reichenbachs instrument skal ha et tillegg på $23,26''$ og blir $88^{\circ}29'38,81''$. Hansteen var svært fornøyd med teodolitten fra Repsold.

I 1846 ble målepunktene i Finnmark forsynt med tresignaler og Klouman og Lundh målte en del av strekningen nordover fra Kautokeino samt tre punkter omkring Hammerfest¹⁰. I 1847 fullførte Klouman målingene fram til Fuglenes¹¹ ved Hammerfest etter først å ha reparert ødelagte signaler. På grunn av vanskelige værforhold måtte arbeidet stoppe da han kom dit, og den påtenkte tilknytning til kystmålingsrekken ble ikke utført. Været førte også til at ikke alle stasjoner var synlig samtidig under vinkelmålingene. Bare unntaksvis kunne derfor satsmetoden benyttes helt ut¹². I kortvarige klare øyeblikk måtte repetisjonsvinkelmetoden benyttes. Stedets høyde ble bestemt ved måling av senitavstander i tillegg til barometerbestemmelser.

Hansteen kontrollerte alle beregninger før de ble sendt til Struve i St.Petersburg. Her ble de innarbeidet i de øvrige resultatene av den svenske astronomen Daniel Georg Lindhagen, som var ansatt hos Struve. Dette er første gang norske målinger utjevnes etter minste kvadraters metode¹³.

Tidlig i 1849 ble Struve og Hansteen enige om at det på Fuglenes skulle det foretas astronomisk breddebestemmelse og asimutbestemmelse til orientering av trekantrekken¹⁴. I dette området var det ingen steder som egnet seg til måling av en grunnlinje. Klouman gjorde Hansteen oppmerksom på et område i Alta som kunne egne seg, selv om strekningen var litt kortere enn ønskelig. Struve sendte Lindhagen til Oslo høsten 1849 for å utarbeide detaljplaner sammen med nordmennene¹⁵. Lindhagen skulle stå for de astronomiske observasjonene med utstyr fra Pulkovo observatoriet. Det ble bestemt at en grunnlinje skulle etableres og innmåles i Alta for å fastlegge lengdeskalaen i trekantnettet. Utstyret skulle utlånes fra Russland og Klouman ble sendt til Pulkova observatoriet på Struves invitasjon¹⁶ for opplæring i april 1850¹⁷. Klouman skulle også besørge grunnlinjens tilknytning til trekantrekken fra 1846–47. Det skulle ivaretas med en egen rekke av ekspanderende trekkanter fra grunnlinjen i Alta til trekantsiden Nuhpeálaš-Luvddiidčohkka.

Den 21. mai 1850 dro Klouman og Lindhagen fra Russland¹⁸ med dampskip til København og videre til Oslo. Ved ankomst ble to kronometre fra Pulkovo sammenlignet med pendeluret i Oslo for å bestemme lengdeforskjellen¹⁹. Etter at regjeringen hadde tilrettelagt spesialbehandling fra tollvesenets side²⁰ og andre formaliteter var ordnet, dro ekspedisjonen fra Oslo 10. juni med fortrinnsrett til transport av personell og utstyr. Været langs norskekysten var dårlig og de ankom Finnmark 25. juni. I Alta startet

10.SK. Rapport fra Klouman og Lundh til NGO, datert 7.11.1846. Målingene ble betydelig hindret av regnvær og tåke.

11.SK. Rapport fra Klouman til NGO, datert 8.2.1848.

12.D. G. Lindhagen, *Über den Geodätischen Theil der Norwegischen Gradmessungs-Operationen*, i C. de Tenner, C. Hansteen, H. N. Selander, F. G. W. Struve, Arc du Méridien de $25^{\circ} 20'$ entre Le Danube et La Mer Glaciale mesuré, depuis 1816 jusq'au 1855, St. Petersburg 1860, Tome II, p. 455.

13.Denne matematiske metoden for å fordele observasjonsfeil gir den mest sannsynlige verdien for en målt størrelse. Metodens matematiske grunnlag ble utarbeidet av Legendre i Frankrike. Den ble utviklet av C. F. Gauss like etter århundreskiftet og var i generell bruk blant tyske astronomer og geodeter allerede i 1830-årene.

14.SK. Brev fra W. Struve til C. Hansteen, datert 1.7.1849.

15.SK. Ibid. UiO/AI. Brev fra Lindhagen til Hansteen, datert 1.9.1849.

16.SK. Brev fra Struve til Hansteen, datert 24.8.1849.

17.SK. Brev fra Klouman til Hansteen, datert 12.4.1850. UiO/AI. Brev fra Lindhagen til Hansteen, datert 11.4.1850.

18.D. G. Lindhagen, *Bericht über die im Sommer 1850 ausgeführte Expedition nach dem Norwegischen Finnmarken*, St.Petersburg 1851.

19.SK. En notis av Lindhagen gir resultater med kronometrene Kessels No. 1297 og Dent No. 1942, hvis middelverdi avviker 2 sekunder fra moderne tall, med standardavvik på $\pm 1,6$ sekunder.

20.SK. Brev fra Finansdepartementet til Christiania Toldkammer, datert 30.4.1850.

assistentene tilrettelegging av grunnlinjen mens Lindhagen og Klouman fortsatte med skip til Hammerfest for å lagre det astronomiske utstyret og sette i gang bygging av observatoriet på Fuglenes. Ved retur til Alta ble utstyret for presis lengdemåling pakket ut og kalibrert. Et område mellom Elvebakken og Bukten ble klargjort. Grunnlinjens endepunkt på Elvebakken lå like nord for den østlige delen av rullebanen på dagens flyplass. Endepunktet ved Bukten lå nær dagens E6 der veien begynner oppstigningen mot Alta sentrum²¹. Grunnlinjen i Alta var 2250,639 m lang og endepunktene var markert med jernbolter i jordfast stein²². Fra 5. til 12. juli 1850 gjorde Lindhagen og Klouman uavhengige avlesninger som til slutt viste seg å overensstemme innenfor ± 1 mm. Dette var Norges første presise lengdebasis på land. Klouman etablerte i løpet av de neste 5 ukene flere målepunkter på fjelltopper sør for Alta i stadig økende avstand fra hverandre. Med teodolitt bestemte han retningsvinkler for alle kombinasjoner av siktelinjer mellom toppene slik at grunnlinjen kunne overføres til en av sidene i gradmålingens trekantrekke. Det skulle vise seg å bli en fysisk krevende utholdenhetsprøve i kulde og vind på fjelltoppene og med sedvanlig myggplage på vidda. Den 18. august var Klouman tilbake i Alta og kunne måle inn sin tilknytningsrekke til grunnlinjen og kontrollpunktene rundt den. Deretter ble flo og fjære kartlagt for å bestemme høyden over midlere vannstand til endepunktene for grunnlinjen. Den 20. september dro Klouman sørover med dampskipet og sin del av utstyret.

I Hammerfest ble et observasjonshus satt opp på Fuglenes der et stort universalinstrument fra Ertel (tidsbestemmelse og vinkelmåling), en transportabel meridiantsirkel fra Repsold (breddebestemmelse i meridianen),

et passasjeinstrument (breddebestemmelse i 1. vertikal) og to kronometre ble installert²³. Stedets bredde skulle bestemmes presist, og asimutvinkelen til fjelltoppen Jedki sett fra Fuglenes skulle fastlegge trekantrekken orientering. De første tre ukene hadde Lindhagen kun kortvarige glimt av klar himmel²⁴. Etter ukevis med sammenhengende overskyet himmel fikk han til slutt foretatt de nødvendige observasjoner i tide for avreise med siste båt sørover før vinteren, den 13. oktober.

I juli 1853 møttes Hansteen og Struve i Stockholm med svenske representanter. De avtalte forhold omkring publikasjon av data og resultater, og gikk også inn for at gradrekken endepunkter skulle markeres for ettertiden²⁵. Den norske stat reiste et monument²⁶ der observatoriet på Fuglenes sto som markerer det nordlige endepunktet for verdens lengste gradmåling. Det er påskrift på norsk og latin²⁷: *Det nordlige Endepunkt af en Meridianbue paa 25° 20' fra det nordlige Ocean til Donau Floden igjennem Norge, Sverige og Russland; efter Foranstaltning af Hans Majestæt Kong Oscar I og Kejserne Alexander I Nicolaus I ved uafbrudt Arbejde fra 1816 til 1852 udmaalt af de tre Nationers Geometrer. Bredde 70° 40' 11,3".* Gradmålingens resultater ble publisert av det russiske vitenskapsakademiet i 1860²⁸. I 2005 ble 34 av de originale målepunktene i 10 land mellom Svartehavet og Nordishavet erklært som verneverdige kulturminner av FN. Fire av punktene ligger i Finnmark. Gradbuen er det eneste vitenskapelige verk på UNESCO's verdensarvliste.

Avstanden mellom Agjet og Bæljasvarre ved Kautokeino ble beregnet²⁹ med utgangspunkt i grunnlinjen i Alta og en annen i nord-Sverige. Forskjellen tilsvarer en relativ feil på 1:42000. Den oppnådde presisjonen

21. Bjørn Geirr Harsson har meddelt disse opplysningene basert på egne undersøkelser.

22. Allerede etter få år var den ene fjernet og i dag er intet tilbake.

23. SK. Brev fra Struve til Hansteen, datert 1.1.1850. Brev fra Klouman til Hansteen, datert 19.4.1850.

24. UiO/AI. Brev fra Lindhagen til Hansteen, datert 7.8.1850.

25. SK. Innstilling fra Departementet for det Indre, datert 7.12.1853; kongelig resolusjon datert 30.12.1853.

26. SK. Tegnet av arkitekt von Hanno; brev fra von Hanno til Klouman datert 16.2.1854. Steinhugger- og kobberarbeidet ble utført av fanger på Akershus mens øvrige komponenter ble fremstilt av håndverkere; notat av Klouman datert 17.2.1854. Det ble sendt med skip til Hammerfest i august 1854.

27. UiO/AI. Påskriften ble foreslått av Struve i brev til Hansteen, datert 2.9.1853.

28. C. de Tenner, C. Hansteen, H. N. Selander, F. G. W. Struve, Arc du Méridien de 25° 20' entre Le Danube et La Mer Glaciale mesuré, depuis 1816 jusqu'en 1855, St. Petersburg 1860.

29. UiO/AI. Brev fra Struve til Hansteen, datert 29.8.1855.

kan også bedømmes ved å sammenligne med senere resultater fra NGO. Astronomiske observasjoner på Fuglenes i 1928³⁰ av bredde og asimut ga forskjeller til Lindhagen som er mindre enn målesikkerheten. Felles trekantsider for gradmålingsrekken i Finnmark og senere NGO-trianguleringer viser små forskjeller. En side på 30 km målt i 1910 hadde en forskjell på 1,6 m, altså en relativ feil på 1:19000. I 1938 ble det geodetiske nettet sørfra tilkoblet gradmålingsrekken. Forskjellen var da 0,5 m, altså en relativ feil på 1:60000. Den interne presisjonen i den norske delen av den russisk-skandinaviske gradmålingsrekken var så god som den beste instrumentering i samtiden kunne prestere, til tross for krevende observasjonsforhold.

Gradmåling for Europa

For den videre utvikling av geodesien i Norge var det en viktig hendelse at Norge ble medlem av det europeiske gradmålingssamarbeidet ved dets opprettelse i 1862. Ved å sette sammen nasjonale trekantrekker gjennom flere land i Europa med høye krav til kvalitet skulle jordklodens matematiske form bestemmes nøyaktigere enn før. Hansteens argumentasjon overfor de bevilgende myndigheter var at i tillegg til den vitenskapelige hensikt, ville et så nøyaktighetskreven arbeid skaffe landet svært presise grunnlinjer og tilhørende trekantnett som kunne tjene som ryggrader ved en nyberegning av eksisterende data. Landet ville altså kunne oppnå et samlet trekantnett som var tilstrekkelig nøyaktig for alle praktiske formål.

Norges bidrag i den europeiske gradmålingen skulle etter Hansteens forslag være en meridianrekke fra svenskegrensen ved Halden og nordover til Trondheim og en kortere lengdegradsmåling ut fra denne rekken omtrent på høyde med Bergen. T. C. A. Brochs Trondheimsrekke 1835–36 og F. P. L. Næsers Bergensrekke 1852–53 ble antatt å være av god nok kvalitet til å inngå direkte, men ble foreslått supplert med nye grunnlin-

jemålinger på Mjøsa og Kallandsvannet ved Bergen. Nyberegning skulle sikre et mer nøyaktig resultat enn tidligere. I tillegg skulle det fylles inn med nye observasjoner for å knytte rekkene sammen og forbinde dem med trekantnettet i Sverige. Nidarosdomen skulle være det nordligste punktet i den europeiske meridianrekken (som startet i Palermo) og her skulle nøyaktig bredde, lengde og asimutvinkel bestemmes ved astronomiske observasjoner. Lengdebestemmelsen skulle benytte telegrafi for å oppnå høy nøyaktighet. På samme vis skulle lengden til Bergen, Oslo og Stockholm bestemmes. Det ble anslått at observasjonsarbeidet ville ta tre år og koste 5000 Spd.

Finansiering og drift av Norges deltagelse i den europeiske gradmålingen ble lagt til NGO, men astronomiprofessor C. F. Fearnley³¹ sto for den faglige ledelsen og var norsk delegat ved de internasjonale møtene. Hansteen var blitt 78 år og hadde gradvis trappet ned i de foregående årene. Fearnley hadde overtatt Hansteens undervisningsplikter da han ble universitetslektor i astronomi i 1857. Fire år senere ble Fearnley også direktør for Universitetsobservatoriet. Ved NGO fortsatte Hansteen som direktør, men med fulltids assistanse fra fast ansatt kontorsjef og fagpersonale.

Allerede fra starten ble det avvik fra Hansteens plan. Fearnley fryktet at grunnlinjemålinger på frosne isflater ble påvirket av spenninger i isen og gikk inn for at slikt presisjonsarbeide måtte utføres på fast mark. Han fikk en avtale med Sverige om å låne deres nybygde instrument³² for utmåling av grunnlinjer. I september 1863 reiste Fearnley og NGOs kontorsjef, oberstløytnant F. P. L. Næser, i opplæringsøyemed til Halland (sør for Gøteborg i Sverige) for å være med på siste del av en basismåling³³ der og den tilhørende kalibrering av målestengene. Da arbeidet var avsluttet brakte de instrumenteringen til Oslo. I april 1864 ble apparatet oppstilt i Universitetets fysiske kabinett og målestengenes utvidelse ved temperatur-

30. H.S. Jelstrup, Determinations of astronomical longitudes, latitudes and azimuths. NGO Geodetiske Arbeider, hefte III, 1931; K. S. Klingenberg, Norsk geografisk tidsskrift, 1945, bind X, 117–120.

31. Biografiske opplysninger om deltakerne i den europeiske gradmåling finnes i Tillegg B.

32. UiO/AI. Brev fra Lindhagen til Hansteen, datert 3.6.1862.

33. UiO/AI. Brev fra D. G. Lindhagen til C. F. Fearnley, datert 18.2.1863.

endring ble bestemt. I begynnelsen av mai ble målestengene kalibrert, så ble utstyret satt opp ved det nordlige endepunktet av det som skulle bli Norges første permanente lengdebasis på land. Fra 20. mai til 2. juni ble grunnlinjen på Ekeberg i Oslo målt fra nord til syd³⁴. Dagen etter begynte målingene i motsatt retning og ble avsluttet 13. juni. Under Fearnleys ledelse deltok observator Henrik Mohn fra Observatoriet, oberstløytnant Næser og kaptein L. M. B. Broch fra NGO. Etter gjennomført måleprogram ble målestengene kalibrert igjen og utstyret pakket for skipstransport til Trondheim. Etter omfattende beregninger ble grunnlinjen på Ekeberg bestemt til 3947,358 m. Differansen mellom de to måleseriene var 2,5 mm, altså en relativ feil på 1:1570000.

Nordover fra ekserserplassen Rinnleiret ved Levanger var et område langs stranden utvalgt til etablering av lengdebasis³⁵. Etter kalibrering av målestengene ble grunnlinjen målt to ganger mellom 12. og 25. august av Fearnley, Næser og kaptein H. J. T. W. Ræder. Etter avsluttende kalibrering ble utstyret pakket og returnert til Sverige³⁶. Grunnlinjen på Rinnleiret ble bestemt til 3520,586 m. Forskjellen mellom de to målingene var 2,3 mm, altså en relativ feil på 1:1510000³⁷.

I juli-oktober 1864 ble Ekeberg basis knyttet til eksisterende trekantnett av Mohn i punktene Toås og Kolsås³⁸. Til vinkelmålingene hadde man i 1862 anskaffet det første norskproduserte universalinstrumentet, fra instrumentmaker C. H. G. Olsen i Oslo³⁹. Det ble benyttet som teodolitt i 40 av de 49

stasjonene som gradrekken skulle komme til å bestå av. I 11 stasjoner ble det gjort astronomiske observasjoner til bestemmelse av bredde og asimut. L. Broch førte samtidig trekantnettet sørover til svenskegrensen for tilkobling med det svenske nettet. Han benyttet en teodolitt som NGO tidligere hadde anskaffet fra Reichenbach i Tyskland. Repetisjonsvinkelmetoden skulle senere vise seg å ikke gi nøyaktige nok resultater, og nettet ble observert på nytt 13 år senere av observator H. Geelmuyden⁴⁰.

Grunnlinjen på Rinnleiret ble knyttet til trekantnettet i punktene Stokkvola og Hårskallen ved observasjoner med Olsens universalinstrument av Mohn⁴¹ sommeren 1865 og J. J. Åstrand, observator ved observatoriet i Bergen, sommeren 1866⁴².

De anbefalte fremgangsmåter (bl.a. satsmålinger for å eliminere delingsfeil i avlesnings sirkelen) og nøyaktighetskrav som den europeiske gradmåling vedtok i 1864 medførte at endel av de tidligere observasjonene i Norge måtte forkastes. De var gjort ved repetisjonsvinkelmåling. Flere av vardene fra de første trekanttrekkene var også forsvunnet. Det ble derfor besluttet at trekanttrekkene skulle måles på nytt med høy presisjon og moderne instrumenter. En ny søknad til Stortinget førte til en årlig bevilgning fra 1866 på 2000 Spd. og prosjektets tidsramme ble forlenget. Med utgangspunkt i trekantsiden Toås-Kolsås, som var direkte knyttet til Ekeberg basis, ble en trekantrekke målt 1867–1870 nordover til linjen Spåtind-Nevelsfjell av Fearnley og Geelmuyden⁴³. I 1866

34. Bjørn Geirr Harsson har meddelt at det sydlige endepunktet for Ekeberg basis befinner seg i hagen til Kittel-Nielsens vei 63 på Nordstrand.

35. Bjørn Geirr Harsson har meddelt at det sydlige endepunktet for Rindenleret basis ligger 5m fra en gammel kaserne i militærleiren. Det nordlige endepunktet befinner seg på Ørin.

36. SK. Brev fra D. G. Lindhagen til F. P. L. Næser, datert 8.10.1864. Planene om en lengdebasis ved Bergen ble aldri realisert.

37. C. Fearnley, H. Mohn, O. Schiötz, W. Haffner, W., *Die Basis auf Egeberg bei Christiania und Die Basis auf Rindenleret bei Levanger*. Publication der Norwegischen Commission der Europäischen Gradmessung; Geodätische Arbeiten, Heft I. Kristiania 1882.

38. W. Haffner, H. Mohn, *Die Verbindung der Basis bei Christiania mit der Hauptdreiecks-Seite Toaas-Kolsaas*. Publication der Norwegischen Commission der Europäischen Gradmessung; Geodätische Arbeiten, Heft II. Kristiania 1881.

39. B. R. Pettersen, A leading nineteenth century instrument-maker in Norway and his astronomical and geodetic instruments, 2004, *Journal of Astronomical History and Heritage* 7(2): 95–102.

40. W. Haffner, H. Geelmuyden, H. Mohn, O. Schiötz, C. F. Fearnley, C. F., *Das südliche Dreiecknetz zur Verbindung der Haupt-Dreieckseiten Toaas-Kolsaas und Dragonkollen-Vagnarberg-Koster*. Publication der Norwegischen Commission der Europäischen Gradmessung; Geodätische Arbeiten, Heft VI. Kristiania 1888.

41. UiO/Al. Rapport fra H. Mohn til C. F. Fearnley, datert 1.9.1865.

42. W. Haffner, H. Mohn, J. J. Åstrand, *Die Verbindung der Basis auf dem Rindenleret mit der Hauptdreiecks-Seite Stokvola-Haarskallen*. Publication der Norwegischen Commission der Europäischen Gradmessung; Geodätische Arbeiten, Heft III. Kristiania 1882.

startet Åstrand⁴⁴ fra Stokkvola-Hårskallen og gikk sørøver til Trondheim. C. M. Guldberg førte rekken videre i 1867 og Haffner og Geelmuyden førte den sammen med den sørlige delen i 1870 og 1872. Imidlertid var det vanskeligheter med å oppnå god nok nøyaktighet over Dovre (slik T. Broch også hadde erfart i 1835–36). Etter flere forsøk i tiåret etter Hansteen død (1873) ble kravene til slutt oppfylt ved etablering av tilleggsstasjoner som ble innmål i 1883⁴⁵. Det ble utført astronomiske observasjoner på utvalgte stasjoner til intern kontroll av trekantnettets orientering. En sammenligning av lengden fra Spåtind til Nevelfjell avslører den samlede nøyaktighet i dette mangeårige arbeidet. Lengden overført på grunnlag av grunnlinjen ved Rinnleiret og trekantrekken over Dovre gir 44226,636 m. Med utgangspunkt i grunnlinjen ved Ekeberg og overføring via trekantrekken nordover til Spåtind-Nevelfjell blir lengden 44227,021 m. Forskjellen på 38,5 cm representerer en relativ feil på 1:115000.

For å oppnå de mest nøyaktige astronomiske observasjonene foretok Fearnley i 1863 en oppgradering av meridiansirkelen ved Universitetsobservatoriet i Oslo. Han fikk detaljerte opplysninger om hvordan samme forbedring var blitt gjennomført ved observatoriet i Stockholm noen år tidligere⁴⁶. I Oslo ble marmorsøylene som tidligere bar instrumentet fjernet. Et teglsteinsfundament ble murt direkte på fjell. To nye søyler av en spesiell sort hard teglstein bar en sandsteinskubus øverst. På den var de mekaniske innretninger skrudd fast som opplagret meridiankikkertens horisontalakse⁴⁷. Hensikten var å stabilisere oppstillingen

mot tidsvariasjoner som følge av endringer i fuktighet og temperatur.

Mellom de astronomiske kontrollpunktene ble det benyttet telegrafi til lengdebestemmelsen. I 1865 foretok Fearnley⁴⁸ sammen med astronomer i København og Stockholm svært presise bestemmelser av lengdeforskjellen mellom hovedstedenes observatorier. Den avledede verdien mellom København og Oslo var en størrelsesorden mer nøyaktig enn det som ble oppnådd ved kronometerekspedisjonen i 1847⁴⁹. Fearnley foreslo deretter å benytte samme metode mellom Bergen og Oslo. Det skulle imidlertid drøye til 1880 før dette lyktes i et samarbeid mellom Geelmuyden og Åstrand⁵⁰.

Sluttbemerkning

Deltakelse i to internasjonale gradmålingsprosjekter satte norsk geodesi overfor langt strengere nøyaktighetskrav enn de NGO til vanlig hadde operert med for sine kartleggingsformål. I begge prosjektene ble det avgjørende at instrumenteringen var av beste slag. Ved den russisk-skandinaviske gradmålingen i Finnmark ble det dels anskaffet nytt, dels lånt fra utlandet. Ved den europeiske gradmålingen ble det både anskaffet nytt, bygget permanent infrastruktur for grunnlinjemåling og foretatt oppgradering av eksisterende utstyr. I begge prosjektene ble observasjonsforholdene styrende for resultatet. Observatører og prosjektledelse erfarte at utilstrekkelig presisjon innebar nyobservasjon på et senere tidspunkt. Nøyaktighetskravene var styrende og medførte ekstra kostnader av både økonomisk, tidsmessig og personellmessig art.

43. C. Fearnley, H. Geelmuyden, W. Haffner, *Das mittlere Dreiecknetz zur Verbindung der Haupt-Dreieckseiten Toas-Kolsaas und Spaatind-Näverfjeld*. Publication der Norwegischen Commission der Europäischen Gradmessung; Geodätische Arbeiten, Heft V. Kristiania 1887.

44. SK. Brev fra J. J. Åstrand til F. P. L. Næser, datert 25.9.1866.

45. C. Fearnley, H. Geelmuyden, C. M. Guldberg, W. Haffner, J. J. Åstrand, *Das nördliche Dreiecknetz zur Verbindung der Haupt-Dreieckseiten Haarskallen-Stokvola und Spaatind-Näverfjeld*. Publication der Norwegischen Commission der Europäischen Gradmessung; Geodätische Arbeiten, Heft IV. Kristiania 1885.

46. UiO/AI. Brev fra Lindhagen til Fearnley, datert 18.2.1863.

47. C. Fearnley, H. Geelmuyden, *Zonenbeobachtungen der Sterne zwischen 64°50' und 70°10' Nördlicher Declination*. Christiania 1888.

48. C. F. Fearnley, F. C. Schjellerup, D. G. Lindhagen, *Längenbestimmungen zwischen den Sternwarten in Stockholm, Kopenhagen und Christiania*. Kongl. Svenska Vetenskaps-Akademiens Handlingar, Bandet 24, No. 4. Stockholm 1890.

49. C. Hansteen, C. Fearnley, *Beschreibung und Lage der Universitäts-Sternwarte in Christiania*. Christiania 1849.

50. UiO/AI. Rapport fra J. J. Åstrand til C. F. Fearnley, datert 4.11.1881.

NGOs umiddelbare fordel av gradmålingsprosjektene var både den faglige anerkjennelsen internasjonalt som ble institusjonen til del og det utmerkede datagrunnlaget som ble produsert. Den videre oppmåling av landet tok utgangspunkt i de to gradmålingsrekkene og gjorde anstrengelser for å forbinde dem til en nasjonal ryggrad for etablering av et landsdekkende nett av trekantner. Ifølge interne instruks⁵¹ skulle målinger av hovednettet heretter utføres så nøyaktig at de kunne inngå direkte i beregning av gradrekker. Utjevningberegning skulle gjennomføres både i stasjon og nett, den gang en meget tidkrevende målsetting.

I ettertid fremstår det derfor som nokså bakstrevensk at Hansteens integrasjon av vitenskapelige problemstillinger i Norges geografiske oppmålings forvaltningsvirksomhet ble stoppet av Indredepartementet straks han fratrådte stillingen som direktør i 1872. Et forslag om å overføre Gradmålingen til Universitetet ble avslått av Kirkedepartementet. Etter modell fra andre land ble det opprettet en statsoppnevnt gradmålingskommisjon som besørget de vitenskapelige beregningene og publikasjon av resultatene. Selv om den var virksom helt fram til første verdenskrig var kommisjonen ment å være et tidsbegrenset koordineringsorgan og ikke en vitenskapelig institusjon. Allikevel var det gradmålingskommisjonen og ikke NGO som ble nasjonal drivkraft for å starte vannstandsmålinger langs norskekysten. Hensikten var å bestemme midlere vannstand som utgangspunkt for høyde- og dybdeangivelser. De to første stasjonene ble satt i gang på Oscarsborg ved Drøbak og i Trondheim i 1872. Det var også gradmålingskommisjonen som argumenterte for nivellement som en nødvendighet for å binde sammen vannstandsmålerne og for å etablere et høydesystem for landet. Forslaget var allerede vedtatt på den europeiske gradmålingskonferansen i 1864 og ble iverksatt i de fleste land. I Norge ble nivellement stoppet av økonomiske argumenter helt fram til 1887. Og da potensialteorien medførte at høydesystemet måtte ledsages av tyngdemålinger, var det gradmålingskommisjonen som startet dette også.

Med Sternecks pendelapparat ble tyngdekraften målt på utvalgte steder over hele landet fra 1892.

Etter Hansteens død i 1873 ble NGO umiddelbart redusert til en utøvende etat for geometrisk oppmåling av landet til forbedring av kartgjengivelsen. Kalenderen skulle vise 1905 før NGO overtok nettet av vannstandsmålere, 1916 før presisjonsnivellement ble en målrettet virksomhet og 1948 før tyngdemålinger med gravimeter ble en aktivitet. På mange måter glapp det for norsk geodesi da FoU-komponenten ble fjernet fra NGO uten at oppgavene ble overført til en institusjon med et kompetent forskningsmiljø og langsiktig finansiering.

En rekke detaljer i denne fremstillingen er fremkommet ved gjennomgang av historisk arkivmateriale. Statens kartverk har gitt tilatelse til og tilrettelagt for adgang til eldre observasjonsbøker, korrespondansearkiv og journalarkiv. Christopher Hansteens faglige og private korrespondanse er oppsøkt i arkiver og håndskriftsamlinger ved Universitetet i Oslo, Staatsbibliothek zu Berlin, Staatsarchiv Hamburg, og Kongelig Bibliotek i København. Samtaler med sjefingeniør Bjørn Geirr Harsson i Statens kartverk Geodesi har tilføyd en rekke deltaljopplysninger.

Tillegg A: Hansteen og hans observatører ved den russisk-skandinaviske gradmåling

Christopher Hansteen (26.9.1784–15.4.1873) fra Oslo studerte ved Københavns Universitet 1802–1806 og var adjunkt i matematikk i Fredriksborg før han i 1814 ble lektor i anvendt matematikk ved Det kongelige Frederiks Universitet i Christiania (i dag: Oslo). Professor 1816–1861. Direktør i NGO 1817–1872. Lærer ved den militære høyskolen 1826–1849. Initierte og ledet arbeidet med fastlegging av ny nullmeridian for Norge. Etablerte tidmessig geodetisk grunnlag for hele landet. Fornyet store deler av kystens hydrografiske grunnlag.

Fredrik Laurentius Klouman (18.3.1813–28.1.1885) fra Hurdal tok krigsskolen i 1831. Landmåler i den nord-norske kystoppmålin-

51. W. Haffner, *Instruks for Norges geografiske opmålings trigonometrister*. Christiania 1882.

gen 1839–1844 og i den russisk-skandinaviske gradmåling 1845–50. Generalmajor og brigadesjef. Kommandant på Bergenhus 1861–1882.

Christopher Anker Bergh Lundh (3.1.1816–4.10.1865) fra Oslo tok krigsskolen i 1834. Landmåler i den russisk-skandinaviske gradmåling 1845–46. Offiser i infanteriet inntil han 1854 ble major og sjef for Krigsskolen. I 1861 ble han generalmajor og sjef for generalstaben, leder av den militære høyskole, hvor han underviste i krigshistorie, og personaldirektør i NGO.

Daniel Georg Lindhagen (27.7.1819–5.5.1906) studerte astronomi ved universitetet i Uppsala og var ansatt ved Pulkovo observatoriet i Russland 1847–1856. Deltok i den russisk-skandinaviske gradmåling både som observatør og beregner. Sekretær for Vitenskapsakademiet i Stockholm 1866–1901.

Tillegg B: Fearnley og hans observatører i Gradmålingen

Carl Fredrik Fearnley (19.12.1818–22.8.1890) fra Halden tok embetseksamen ved Universitetet i 1844 og ble ansatt samme år som observatør ved Universitetsobservatoriet. Utenlandsopphold 1850–52 ved Europas fremste observatorier og universiteter. Deretter universitetsstipendiat og i 1857 lektor i astronomi da professor Hansteen ble fritatt for undervisningsplikter. Professor i astronomi 1865–1890. Ledet gradmålingen i Norge fra 1863 og var nasjonal delegat til den europeiske gradmålingskommisjon 1864–1883. Redaktør av Almanakk for Norge 1863–1890.

Lars Marius Bing Broch (1.4.1826–1.7.1882) fra Fredrikstad tok krigsskolen i 1845. Tjenestegjorde i infanteribrigade og generalstab. Landmåler i gradmålingen 1863–1866 deretter kontorsjef i NGO til 1878, da han ble oberst og brigadesjef. Kommandant på Fredriksten. Underviste på krigsskolen og utga Lærebog i landmaaling (1861).

Hans Geelmuyden (10.1.1844–1.5.1920) fra Stavern ble cand.real. fra Universitetet i Oslo i 1868 og var observatør ved Universitetsobservatoriet 1867–1890. Professor i as-

tronomi 1890–1919. Deltok i gradmålingen i Norge fra 1867 og i den telegrafiske lengdebestemmelsen mellom Bergen og Oslo i 1880. Observerte breddevariasjoner i tidsserier med passasjeinstrument i 1886–1887.

Cato Maximilian Guldberg (11.8.1836–14.1.1902) fra Oslo ble cand.real. fra Universitetet i Oslo i 1859. Landmåler i gradmålingen 1867–69. Professor i anvendt matematikk fra 1869.

Johan Fredrik Wilhelm Haffner (22.9.1835–17.2.1901) fra Stavern tok krigsskolen i 1855 og militær høyskole i 1858. Landmåler og seksjonsleder i NGO 1864–1872 og 1876–1882. Deltok i gradmålingen fra 1870 og var medlem i den europeiske gradmålingskommisjon fra 1875. Sjef for NGO 1888–1900. Oberst.

Henrik Mohn (15.5.1835–12.9.1916) fra Bergen ble utdannet i realfag ved Universitetet i Oslo 1858 og ble observatør i 1861 ved Universitetsobservatoriet. Deltok i gradmålingen 1864–1866. Grunnla Meteorologisk Institutt og ble professor i meteorologi i 1866.

Fredrik Peter Leganger Næser (6.10.1816–14.6.1901) fra Stange tok krigsskolen i 1837. Landmåler i NGO 1846–1858, deretter kontorsjef til 1866. Da ble han oberst og sjef for kavaleribrigaden. I bistilling var han direktør i NGO fram til 1872. Adjutant for kongen. Generaløyntant.

Hans Jakob Theodor Wilhelm Ræder (19.9.1831–3.6.1920) fra Trondheim tok krigsskolen i 1851 og militær høyskole i 1855. Landmåler og karttegner i NGO 1852–1864. Deltok i grunnlinjemåling for gradmålingen i 1864. Generalmajor og brigadesjef. Kommandant på Fredriksten.

Oskar Emil Schiøtz (3.10.1846–24.2.1925) fra Stavanger ble cand.real. fra Universitetet i Oslo i 1871. Professor i fysikk fra 1875. Landmåler i gradmålingen 1877.

Johan Julius Åstrand (29.9.1819–19.2.1900) fra Gøteborg. Studerte i København og London. Navigasjonslærer i Gøteborg og Bergen 1839–1857. Observatør og bestyrer av Bergen observatorium 1857–1898. Deltok i gradmålingen 1866 og ved telegrafisk lengdebestemmelse mellom Bergen og Oslo i 1880.